Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Prioritizing the construction of watershed check dams using spatial multi-criteria evaluation model (Case study: Dorahan watershed)

Amirali Aali[*1], Saeid Soltani[2], Hosein Bashari[3], Afshin Honarbakhsh[4]

1. Former M.Sc. Student, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: Amirali.aali65@gmail.com
2. Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: ssoltani@cc.iut.ac.ir
3. Associate Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: hbashari@cc.iut.ac.ir
4. Associate Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Email: honarbakhsh@nres.sku.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 24 January 2023
Revised: 24 March 2023
Accepted: 29 March 2023
Published online: 20 April 2023

Keywords:
Analytic hierarchy process, Checkdams, Evaluation model, Optimize positioning, Spatial multi-criteria, Weighing.

ABSTRACT

Identifying the appropriate places for implementing various management actions in the watershed is a challenging issue. Multi-Criteria Analysis (MCA) is an approach to assist managers in solving this problem. This study aimed to determine appropriate places for gabion check dams, earth embankments, and stone and mortar dams using the MCA technique in the Dorahan watershed in Chaharmahal and Bakhtiari province. First, a criteria tree was developed to integrate some ecological maps (flooding, erosion, channel number, slope, and geomorphology) with economic variables (distance to villages and roads) and spatial restriction variables (stream order, slope, geomorphology, and elevation). Analytical Hierarchical Process (AHP) was used to compare and weight the variables and management options. The eigenvalue vectors were measured for all criteria used in AHP. According to the AHP, the eigenvalues of flooding and erosion as the most important variables were 0.36 and 0.32, respectively. The management options against all criteria were then compared and earth embankment with an eigenvalue of 0.494 was recognized as the best management option in the watershed. Stone and mortar dams and gabion check dams were the two later management options with eigenvectors of 0.316 and 0.126, respectively. All criteria maps were produced in a raster format by ILWIS software and were then imported into the Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) model. The appropriate areas for the construction of these management options (different kinds of small dams) were then mapped in the watershed. Sub-watersheds 6 and 7 were identified as the most suitable area for implementing these management options. A similar approach can be used to identify the best management practices for suggesting other bio-mechanical projects.

Citation: Aali, A.A, Soltani, S., Bashari, H., Honarbakhsh, A. (2023). Prioritizing the construction of watershed check dams using spatial multi-criteria evaluation model (Case study: Dorahan watershed). Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems, 11(1), 53-70.
DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association © Author(s)

***Corresponding author:** Amirali Aali
Address: Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
Tel: +989135926982
Email: Amitali.aali65@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Prioritizing the Construction of Watershed Check dams using spatial multi-criteria evaluation model (Case study: Dorahan watershed)

Amirali Aali[*1], Saeid Soltani[2], Hosein Bashari[3], Afshin Honarbakhsh[4]

1. Former M.Sc. Student, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: Amirali.aali65@gmail.com
2. Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: ssoltani@cc.iut.ac.ir
3. Associate Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: hbashari@cc.iut.ac.ir
4. Associate Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Email: honarbakhsh@nres.sku.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Locating improvement operations in watershed management is one of the challenging issues. The Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) is a methodology to help managers to solve this problem. A large amount of data has been collected by various organizations and research centers in this field, but it is necessary to pay more attention to the planning necessary to reduce risks with data mining and new technologies. From the point of view of planning in watersheds, it is a complicated task and it is possible with the intervention of several factors and limitations. Due to the fact that the location of remedial operations is carried out by consulting engineer experts in our country, it is necessary that this method is provided to them so that they could able to approach the appropriate type of operations and help them for locating the projects. The aim of the study was to determine suitable places for the construction of gabion, earth, and stone mortar dams using a multi-criteria analysis methodology in the Dorahan watershed of Chaharmahal and Bakhtiari province.

Methodology: The first step in designing the mechanical structures of watersheds is to determine the location of these structures. With regard to the main goal, which was the spatial prioritization of the construction of gabion, earthen, and stone mortar dams, the tree model of the analysis and combination of maps of natural factors (floods, erosion, water level, slope, and geomorphology), economic factors (proximity to the road) and spatial limitations (waterway grade, slope, geomorphological surface, and elevation) were prepared. The slope was obtained from the digital elevation model (DEM). Proximity to the village and the road, considering the privacy of the village and the road, ILWIS was prepared. Limiting factors such as the level of villages and roads, areas other than second-grade waterways for gabion dams, third-grade waterways for stone-mortar dams, and third- and fourth-grade waterways for earthen dams that do not have any intervention in the case of Bolin (correct) and wrong) were removed from the program. In the following, AHP was used to weight the factors. In hierarchical analysis, factors were compared in pairs and the relative importance of factors in determining the suitability of a pixel for a certain type of decision was evaluated. In hierarchical analysis, only two criteria are compared at the same time, of course, the relative values on a continuous scale vary from 1 to 9. The categories were arranged in a reciprocal square matrix. Analyzes and surveys were done and weights were obtained from the matrix with the highest configuration. The grouping was done. In this method, the correct numbers were given to the factors according to their importance and priority. The normal weight of the factors was calculated (numbers range from zero to one), then the factors were combined and the location priority map for the construction of earthen, stone, mortar, and gabion dams was calculated.

Results and Discussion: Based on the weights given to each of the criteria, flood and erosion with values of 0.36 and 0.32, respectively, were in higher priority than other criteria for the construction of earthen embankment, stone mortar, and gabion. In the paired comparison of the operations based on the slope, mortar rock with a value of 0.75 had a higher priority. In the paired comparison of the operations based on the

***Corresponding author:** Amirali Aali
Address: Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
Tel: +989135926982
Email: Amitali.aali65@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

landslide, the earthen rock with a value of 0.6 was placed as the first priority. Based on the geomorphology criteria both gabion and stone mortar with a value of 0.43 had a higher priority than soil. In the comparison of goals based on the erosion criteria, the first priority was given to the earth dam with a value of 0.78. In the comparison of the operations, according to the criteria of the grade of the waterway, the first priority was given to the earth dam with a value of 0.6. In the following, according to the prioritization by AHP and using the weighted average, the first priority was the earthen dam with a value of 0.49, followed by stone mortar and gabion with a value of 0.316 and 0.126, respectively. Finally, through the criteria and limitations related to each of the goals (flooding, water level, slope, erosion, etc.), a spatial prioritization map was prepared for the construction of earthen dams, stone mortars, and gabions (e.g., Figures 1 to 3).

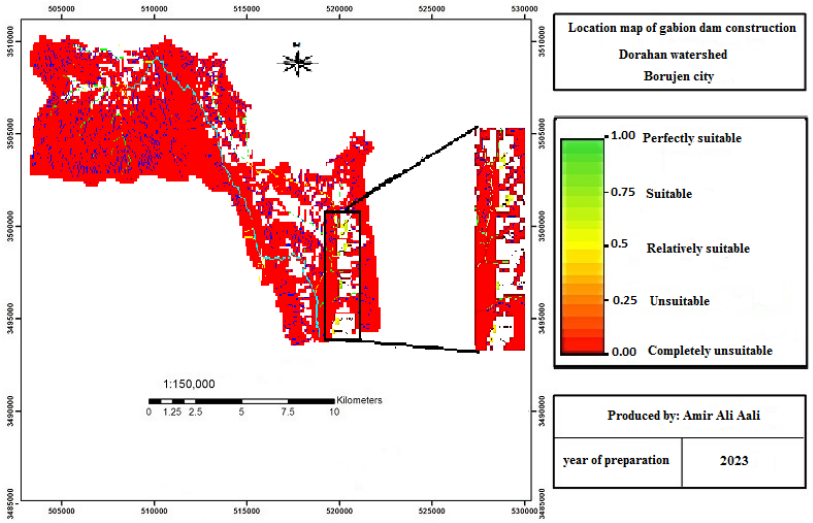


Figure 1- Locating the Gabion dam construction by SMCE

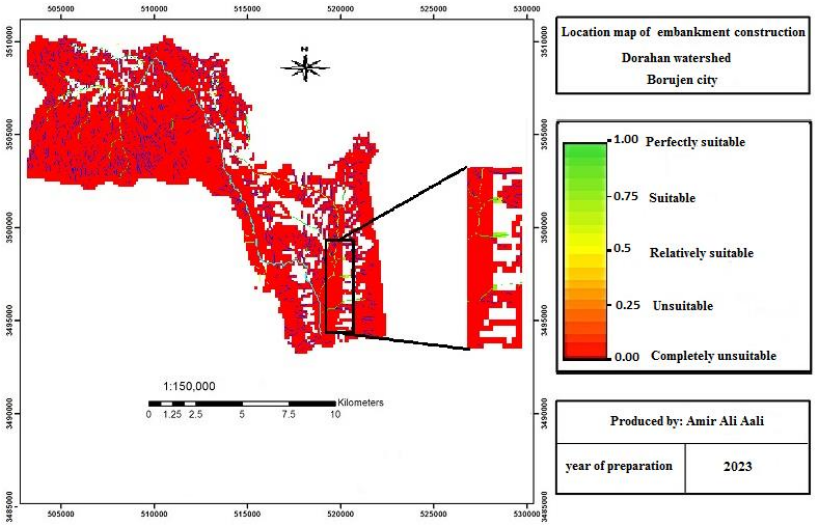


Figure 2- Locating the embankment construction by SMCE

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

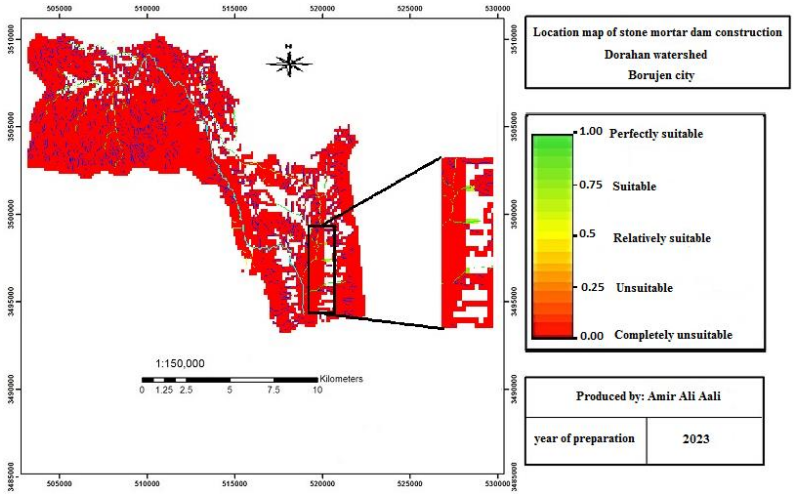


Figure 3- Locating the mortar and stone construction by SMCE

Conclusion: The results showed that by using multi-criteria analysis methods, it is possible to place and prioritize watershed improvement operations. Factors effective in settlement can be prioritized using the AHP method, in which flood and erosion factors were more important. In this study area, the first priority was given to earthen dams, and the second and third priorities were to mortar and gabion dams, respectively. Moreover, the SMCE was well used in the preparation of the location map for the construction of earth, stone, mortar, and gabion dams. This method could be suggested for other biomechanical projects in the field. The necessity of this type of study is more evident from the fact that most of the basic studies are done in detail and separately, and the risks of erosion are identified, but the integration and planning stage is done with the aim of reducing the wastage of attention. Less basic studies are done.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: All datasets are provided in the main text.
Funding: This study was conducted as the M.Sc. Thesis at the Isfahan University of Technology, Iran.
Authors' contribution: Amirali Aali: Writing - original draft preparation; Saeid Soltani: Resources, Software, Manuscript editing; Hosein Bashari: Formal analysis and investigation; Afshin Honarbakhsh: Visualization, Supervision.
Conflicts of interest: The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: We would like to express our sincere gratitude to the Isfahan University of Technology, the University of Shahrekord, and the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Chaharmahal and Bakhtiari Province who significantly contributed to the research project.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

اولویت‌بندی احداث انواع بندهای اصلاحی آبخیزداری به‌روش تحلیل چندمعیاره مکانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دوراهان)

امیرعلی عالی[*۱]، سعید سلطانی[۲]، حسین بشری[۳]، افشین هنربخش[۴]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، Amirali.aali65@gmail.com
۲. استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، ssoltani@cc.iut.ac.ir
۳. دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، hbashari@cc.iut.ac.ir
۴. دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، honarbakhsh@nres.sku.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۰۴ بهمن ۱۴۰۱
بازنگری: ۰۴ فروردین ۱۴۰۲
پذیرش: ۰۹ فروردین ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۳۱ فروردین ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
تحلیل سلسله مراتبی، سدهای کوچک، مدل ارزیابی، مکان‌یابی بهینه، وزن‌دهی.

چکیده

مکان‌یابی روش‌های اصلاحی در مدیریت حوزه‌های آبخیز یکی از مسائل چالش‌برانگیز بوده و تحلیل چندمعیاره روشی برای کمک به مدیران برای رفع این مشکل است. این مطالعه با هدف تعیین مکان‌های مناسب احداث بندهای اصلاحی توری‌سنگی، خاکی و سنگی‌ملاتی با استفاده از تحلیل چندمعیاره در حوزه آبخیز دوراهان استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. در این روش مدل درختی تحلیل و ترکیب نقشه‌های عوامل‌طبیعی (سیل‌خیزی، فرسایش، درجه‌آبراهه، شیب و رخساره ژئومرفولوژی)، عوامل اقتصادی (نزدیکی به روستا، نزدیکی به جاده) و محدودیت‌های مکانی (درجه‌آبراهه، شیب، رخساره ژئومرفولوژی و ارتفاع) تهیه شد. برای مقایسه‌زوجی و وزن‌دهی به معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد و برداروی‌ژه مربوط به هر معیار از میانگین‌وزنی معیار مربوطه نسبت به کل معیارها محاسبه شد. بر اساس نتایج، سیل‌خیزی و فرسایش به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۶ و ۰/۳۲ از اهمیت بیش‌تری برخوردار بودند. اهداف نیز به‌صورت زوجی و بر اساس هر معیار باهم مقایسه شده و امتیاز مربوط به هرکدام مشخص شد. در این حوزه آبخیز اولویت اول به بندخاکی با امتیاز ۰/۴۹ و اولویت‌های دوم و سوم به‌ترتیب به بندسنگی ملاتی و گابیونی با امتیازهای ۰/۳۲ و ۰/۱۳ تخصیص داده شد. در انتها نقشه‌های مربوط به معیارها با استفاده از نرم‌افزار ILWIS به‌صورت رستری تهیه و به‌همراه وزن هر معیار وارد مدل تحلیل چندمعیاره مکانی (SMCE) شد. در نهایت نقشه‌مکان‌یابی احداث بندهای‌خاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی تهیه شد که زیرحوزه‌های آبخیز ۶ و ۷ برای احداث این سازه‌ها مناسب‌تر بودند. در این مطالعه اولویت اول به بندخاکی با امتیاز ۰/۴۹۳۸ داده شد. اولویت دوم و سوم به‌ترتیب مربوط به بندسنگی‌ملاتی و گابیونی با امتیازهای ۰/۳۱۶ و ۰/۱۲۶۲ بود. به این‌ترتیب جایی‌که منابع‌سنگ (برونزدسنگی) و آبراهه‌های درجه دو (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) وجود داشت و نزدیک به جاده بود، مناسب احداث بندهای توری‌سنگی، مناطق با آبراهه‌های درجه سه و چهار (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) و با شیب کم‌تر از ۱۰ درصد و شاخص سیل‌خیزی ۳/۴ تا ۳/۶ مناسب احداث بندخاکی و مناطق با آبراهه‌های درجه سه (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) و با شیب کم‌تر از ۲۰ درصد و شاخص سیل‌خیزی ۳/۴ تا ۳/۶ مناسب احداث بندسنگی‌ملاتی تشخیص داده شد.

استناد: عالی، ا.م.، سلطانی، س.، بشری، ح.، هنربخش، ا. (۱۴۰۲). اولویت‌بندی احداث انواع بندهای اصلاحی آبخیزداری به‌روش تحلیل چندمعیاره مکانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دوراهان)، سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۱(۱): ۵۳-۷۰.

DOI: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

[*] نویسنده مسئول: امیرعلی عالی
نشانی: گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۳۵۹۲۶۹۸۲
پست الکترونیکی: Amirali.aali65@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

مقدمه

سیل، یکی از فراوان‌ترین و خطرناک‌ترین بلایای طبیعی است که هر ساله باعث بروز خسارات جانی و مالی سنگین در سراسر جهان می‌شود (Jangman et al., 2014). بررسی‌های سازمان ملل‌متحد بیان‌گر آن است که سیل را باید جزء یکی از جدیدترین بلایای طبیعی به‌شمار آورد (Kreft et al., 2014) . شناسایی اصولی مناطق خطرساز و سیل‌خیز در داخل حوزه آبخیز از جمله اقدامات بسیار مهم در کنترل سیل و کاهش خسارات ناشی از آن محسوب می‌شود. اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز بر اساس پتانسیل سیل‌خیزی، با هدف تعیین اولویت در سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مدیریتی می‌تواند نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع داشته باشد. کمبود اطلاعات و داده‌های آب‌سنجی مورد نیاز در هر زیرحوزه آبخیز، همواره یکی از مشکلات اصلی تعیین اولویت سیل‌خیزی برای اجرای اقدامات آبخیزداری محسوب می‌شود (Vittala, 2008) به‌دلیل وقوع جریان زیاد یا رواناب در حوزه آبخیز رودخانه‌ها فرسایش عظیمی در سطح حوزه آبخیز اتفاق می‌افتد و نهایتاً مشکلات عدیده‌ای را در پایین‌دست به‌وجود می‌آورد، از جمله در مخازن سدها و کانال‌های آبیاری موجب کاهش راندمان بهره‌برداری و عمر مفید آن‌ها شده که ناشی از ته‌نشینی و انباشته‌شدن رسوب است (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین اولین قدم در مقابله با پدیده فرسایش و مبارزه با آن، شناسایی و پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر است (حجازی و همکاران، ۱۳۹۴). از این‌رو روش‌ها و راهکار اساسی تثبیت و کنترل برای حوزه‌های آبخیز، اصلاح هندسه و شکل دامنه‌ها است (کریمی و نجفی، ۱۳۹۱). با توجه به این موضوع طرح‌های احداث گابیون که از مفتول آهنی آبکاری شده به شکل مکعب‌مستطیل که پس از پرشدن از سنگ همانند یک آجر بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد در جلوگیری از فرسایش و سیل از حوزه‌های آبخیز بسیار مؤثر واقع می‌شوند (جمالی و یزدانی، ۱۳۹۲). در بسیاری از کشورها، سازه‌های اصلاحی یک روش مکانیکی ساده و اقتصادی برای تله‌اندازی رسوبات و کـاهش شیب بستر آبکندها و آبراهه‌ها است (Zhao et al., 2017). مطالعات متعددی به‌منظور مکان‌یابی در کشور انجام شده است که نتایج آن‌ها نشان داد که روش ارزیابی‌چندمعیاره‌مکانی در تشخیص سریع و دقیق پخش‌سیلاب کارآمد است و می‌توان از این مدل برای مکان‌یابی سامانه پخش‌سیلاب در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نمود (وقارفرد و مقیم، ۱۳۹۸). در مطالعه دیگری که در حوزه آبخیز سد باغان بوشهر جهت مکان‌یابی مناطق مناسب برای پخش‌سیلاب با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی انجام شد نتایج نشان داد که ۸۸ درصد از این منطقه دارای قابلیت‌نامناسب، ۰/۱ درصد قابلیت ضعیف، ۱/۶ درصد قابلیت متوسط، ۵ درصد قابلیت خوب و ۵/۳ درصد دارای قابلیت خیلی‌خوب برای پخش‌سیلاب است (محقق‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). از این‌رو برای استفاده از بندهای اصلاحی که در چه مکانی مفید واقع می‌شوند از فنون‌تصمیم‌گیری (SMCE) استفاده شده است (Andreas et al., 2013). SMCE توسط فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پشتیبانی می‌شود (Baker & Kamruzzaman, 2014). در واقع SMCE ترکیبی از MCE و GIS است که هدف MCE به مشارکت گرفتن فضاهای غیرمکانی همراه با وزن‌هایش برای ارزیابی است (Collins et al., 2001). امروزه روش‌های جدید مکان‌یابی با تحلیل‌های‌تصمیم‌گیری‌چندمعیاره (MCDA[1]) از جمله SSESS مطرح است (Andreas et al., 2013). MCDA یک روش مناسب برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات عینی و استفاده از نظرات و برداشت‌های ذهنی دیگر افراد درباره انتخاب مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مناسب برای موضوع مربوطه است (جمالی و همکاران، ۱۳۸۷). AHP[2] وASSESS[3] به‌طور گسترده که از فنون MCDA است، برای سیاست‌گذاری‌های محیطی به‌کار برده می‌شود (Hill et al., 2015). به‌طور کلی GIS و MCDA می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند ترکیب داده‌های‌جغرافیایی و توانایی در تنظیمات تصمیم‌گیری، برای به‌دست آوردن اطلاعات تصمیم‌گیری قلمداد شود (Malczewski, 2006). در استفاده از این روش در حوزه‌های آبخیز می‌توان به تحقیقات جمالی و همکاران (۱۳۸۹) و (۱۳۹۰) که با استفاده از تحلیل چندمعیاره مکانی و فنون تصمیم‌گیری در اولویت‌بندی حوزه آبخیز برای احداث بندهای اصلاحی توری‌سنگی پرداخته شده است، اشاره‌کرد. Choo و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از اطلاعات پوشش‌گیاهی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، شیب، رودخانه و توپوگرافی که در کره‌جنوبی بر مبنای امتیازدهی توسط AHP صورت گرفت، به اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای ساخت سد پرداختند. نتایج نشان‌داد این روش برای مکان‌یابی سد، مناسب است. هم‌چنین در حوزه آبخیز سدشهریار میانه با استفاده از GIS و EPM[4] به ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب‌دهی حوزه آبخیز پرداخته شد (حسینخانی، ۱۳۹۲). نتایج نهایی مبین این واقعیت است که بر اساس مدل EPM و روشGIS محدوده‌های فرسایش همبستگی بسیاربالایی با وضعیت لیتولوژی، خاک و پوشش‌گیاهی و فرسایش آبراهه‌های منطقه دارند. مکان‌یابی و ایجاد سد باعث جلوگیری از فرسایش آبی حوزه‌های آبخیز می‌شود و از خطرات ناشی از سیل در روستاها، زمین‌های کشاورزی و راه‌های پایین‌دست

[1] Multi - Criteria Decision Analysis
[2] Analytical Hierarchy Process
[3] A System for Selecting Suitase Sites
[4] Erosion Potential Model

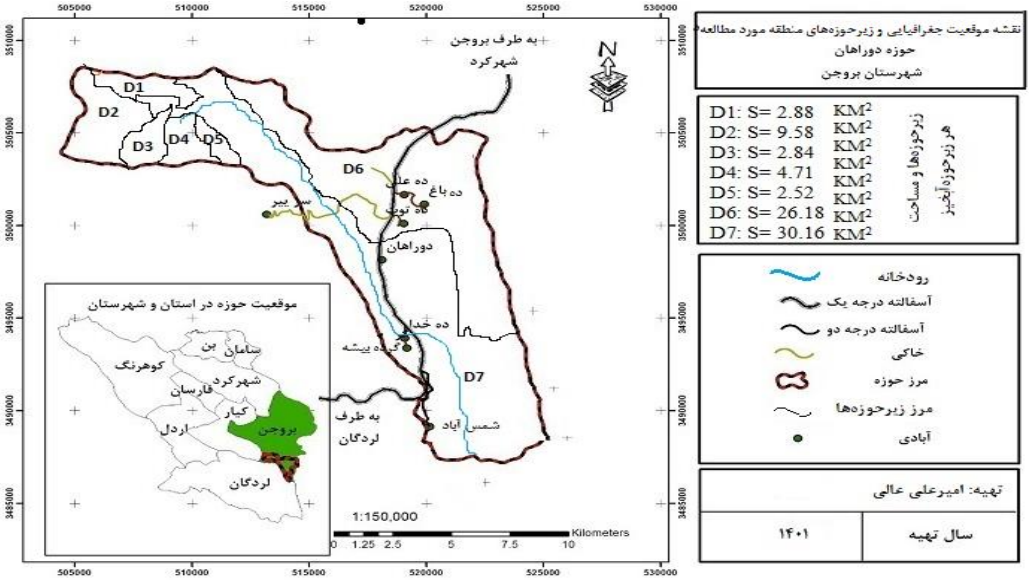
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

حوزه‌های آبخیز جلوگیری می‌شود. در این مطالعه سعی شده‌است با استفاده از روش تحلیل‌چندمعیاره، مکان‌های مناسب برای احداث بندهای اصلاحی توری‌سنگی، خاکی و سنگی‌ملاتی جهت کنترل فرسایش خاک بررسی شود. در این مطالعه حوزه آبخیز دوراهان در استان چهارمحال و بختیاری به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده‌است. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از روش تحلیل‌چندمعیاره، مکان‌های مناسب برای احداث بندهای اصلاحی توری‌سنگی، خاکی و سنگی‌ملاتی جهت کنترل فرسایش خاک بررسی شود. تفاوت و برتری این پژوهش نسبت به مطالعات مشابه در این است که در این پژوهش شاخص سیل‌خیزی با استفاده از رواناب و دبی اوج و از طریق مدل HEC-HMS تعیین و نقشه سیل‌خیزی به‌عنوان نقشه اصلی جهت مکان‌یابی در کنار سایر نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفته و علاوه‌بر اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز جهت انجام عملیات اصلاحی، هر سه نوع عملیات اصلاحی آبخیزداری (بند گابیونی، بند سنگی‌ملاتی و بند خاکی) مکان‌یابی شد.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری جزء مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه‌کارون است. به‌دلیل عدم‌استفاده صحیح از منابع‌آب و خاک، هرساله شاهد هدررفت حجم قابل‌توجهی از آب‌های‌سطحی و حمل مقادیر زیادی از رسوبات به پایین‌دست و خارج از این استان است. حفظ و نگهداری حوزه‌های‌آبخیز بالادست با توجه به شیب زیاد این مناطق، وجود سیلاب‌هایی با شدت زیاد و پوشش‌گیاهی تخریب‌یافته اهمیت آن را دوچندان می‌کند. حوزه آبخیز دوراهان جزء زیرحوزه‌های آبخیز کارون‌شمالی و با مساحت ۷۸/۸۷ کیلومترمربع در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرکرد و بین طول‌های‌جغرافیایی ′۳ °۵۱ تا ′۱۲ °۵۱ شرقی و عرض‌های‌جغرافیایی ′۳۶ °۳۱ تا ′۴۲ °۳۱ شمالی واقع شده است. دامنه ارتفاعی ۲۰۵۰ تا ۳۸۱۸ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط وزنی منطقه برابر ۲۶۴۰ متر از سطح دریا است. حوزه آبخیز مذکور منطقه‌ای کوهستانی بوده و از طرف شمال‌غرب به ارتفاعات سبزکوه ختم می‌شود. متوسط بارش حوزه آبخیز دوراهان ۴۶۰ میلی‌متر بوده که به‌صورت برف است. شیب متوسط ۲۲ درصد و متوسط دمای‌سالیانه آن ۱۰ درجه سانتی‌گراد و از نظر کاربری اراضی ۶۴ درصد اراضی مرتعی، ۱۶ درصد دیمزار، ۱۴/۲ درصد مراتع‌تخریب شده، ۳ درصد کشت‌آبی و حدود ۲/۵ درصد توده‌سنگی است (مطالعات جامع آبخیزداری حوزه آبخیز دوراهان، ۱۳۹۵).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location and sub-watersheds of the study area

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

روش کار

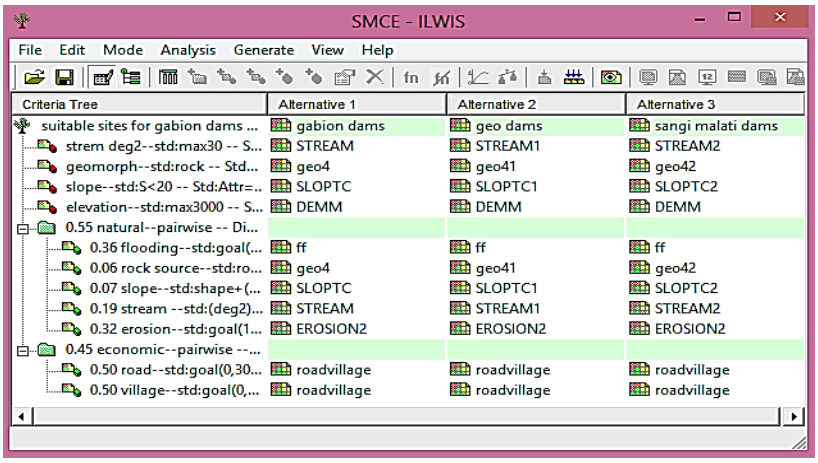
طراحی مدل تحلیل چندمعیاره مکانی

در پژوهش‌حاضر ابتدا اهداف (احداث سازه‌های بندسنگی‌ملاتی، خاکی و گابیونی) مشخص و به مدل تحلیل‌چندمعیاره‌مکانی داده شد و در مرحله بعد، بر اساس منابع و نظر کارشناسان عوامل و محدودیت‌ها (معیارها) تعیین و نقشه‌های رستری مربوط به آن تهیه و وارد مدل شد و از طریق تحلیل‌سلسله‌مراتبی (AHP) معیارها وزن‌دهی شد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از نظر ۳۰ نفر از کارشناسان بخش‌های مطالعاتی و اجرایی در دانشگاه‌ها و ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری، تعداد ۷ معیار مهم برای این مطالعه درنظر گرفته شد. این معیارها به دودسته عوامل‌طبیعی (سیل‌خیزی، فرسایش، درجه‌آبراهه، شیب و ژئومورفولوژی) و عوامل اقتصادی (فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از جاده) تقسیم شدند. معیارها بر اساس روش پنج نقطه‌ای به‌صورت جفتی باهم مقایسه و امتیاز داده شد و وزن معیارها تعیین و اولویت‌بندی شدند (جدول۲). با توجه به هدف اصلی که اولویت‌بندی مکانی احداث بند توری‌سنگی، خاکی و سنگی‌ملاتی بود، مدل درختی تحلیل و ترکیب نقشه‌های عوامل طبیعی، عوامل اقتصادی و محدودیت‌های مکانی که می‌توانند جزو هرکدام از دودسته عوامل طبیعی و اقتصادی باشند (درجه‌آبراهه، شیب، رخساره‌ژئومرفولوژی و ارتفاع) طراحی شد. عوامل و محدودیت‌ها به‌صورت نقشه‌های رستری با زمین‌مرجع و اندازه پیکسل یکسان (پیکسل سایز ۱۰) تهیه شد تا پیکسل‌های نظیر هم بر هم منطبق شوند. شـــیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1]) به‌دست آمد. نزدیکی به روستا و به جاده با ایجاد منطقه حاشیه‌ای یا حریم در اطراف آن‌ها در نرم‌افزار ILWIS تهیه شد. سطح روستاها، جاده‌ها و عمدتا عوامل محدودیت مثل پهنه‌های غیر از آبراهه‌های درجه دو برای بندگابیونی و سه برای بندسنگی ملاتی و سه و چهار برای بندخاکی، نیز که دخالتی در برنامه ندارند در حالت بولین (صحیح و غلط) از برنامه حذف شدند. مدل درخت معیارها برای تحلیل‌های چندمعیاره از عوامل و محدودیت‌های مختلف مکانی مذکور، با برنامه نویسی ویژوال در محیط SMCE طراحی شد. در تحلیل سلسله مراتبی استاندارد کردن فازی عوامل در محدوده ارزشی صفر تا یک انجام شد. این کار برروی نقشه‌ها برای ارائه نقشه‌ای جدید با مقادیر استاندارد صفر تا یک است. برای مقایسه درست عوامل مختلف لازم است ارزش‌ها در محدوده‌های مختلف و کم و زیاد در محدوده بین صفر و یک استاندارد شوند که جهت این کار از روش‌های بیشینه کردن و هدفی استفاده شد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸). در این روش برای مهم‌ترین تابع هدف امتیاز ۱ در نظر گرفته شده و با مقایسه همه توابع هدف دیگر با مهم‌ترین تابع هدف برای هریک امتیازی در بازه (۰،۱) تعیین شده و با نرمالایزکردن امتیازها مقدار وزن توابع هدف تعیین می‌شود. در واقع می‌توان از برداریژه متناظر با حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی توابع هدف را به‌عنوان بردارووزن توابع هدف استفاده نمود. درصورت نیاز باید برداریژه به‌دست آمده را نرمالایز نمود. در واقع این روش همان روش AHP است (وقارفرد و مقیم، ۱۳۹۸). از توابع خطی مستقیم نزدیکی به جاده (سود) یا غیرمستقیم (هزینه) برای استانداردسازی عوامل استفاده شد. نزدیکی به‌جاده رابطه عکس یا هزینه در استاندارد شدن ارزش‌ها می‌گیرد. یعنی هرچه منطقه‌ای که برای احداث بندتوری‌سنگی در نظر گرفته می‌شود فاصله کم‌تری ازجاده داشته باشد ارزش بیش‌تری دارد. زیرا هرچه منطقه احداث به‌جاده نزدیک‌تر باشد هزینه حمل مصالح کاهش یافته و هزینه تمام شده احداث بند کاهش یافته و از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر خواهد شد. در استاندارد بولین محدودیت‌ها وزن‌دهی لازم ندارند. محدودیت‌ها، مناطقی‌اند که با گرفتن ارزش صفر حذف می‌شود و بنابراین به وزن‌دهی نیاز ندارند. این‌که چه‌اندازه شیب یا چه‌مقدار فاصله از آب یا جاده یا دیگر موارد در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ شود بیش‌تر به‌هدف‌کار و نظر کارفرما در طرح و وضعیت منطقه مربوط می‌شود و عدد جهانی خاصی برای آن‌ها وجود ندارد. به‌عنوان مثال شیب بالای۴۰ درصد و کم‌تر از پنج درصد در برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک کم‌تر مطرح‌است. روش‌های مستقیم و مقایسه‌زوجی از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در وزن‌دادن عوامل به‌کار برده شد. در تحلیل سلسله‌مراتبی، عوامل به‌صورت جفتی مقایسه می‌شوند و اهمیت نسبی عوامل در تعیین مناسب‌بودن یک پیکسل برای نوع خاصی از تصمیم برای تصمیم‌گیرنده ارزیابی‌شد و فقط دو معیار، در یک زمان مقایسه شد که البته ارزش‌های نسبی در مقیاس پیوسته‌ای از ۱ تا ۹ متغیر است. دسته‌بندی‌ها در یک ماتریس مربعی متقابل قرار گرفتند. بعد از بررسی و مقایسه معیارها، وزن‌ها از ماتریس با بالاترین سازگاری به‌دست آمد و گروه‌بندی انجام شد. در این روش اعداد صحیحی با توجه به اهمیت و اولویت عوامل به عوامل داده شد و وزن‌نرمال عوامل (دامنه اعداد صفر تا یک) محاسبه شد (Choo و همکاران، ۲۰۱۷). پس از این مرحله تلفیق عوامل انجام شد. به‌عنوان مثال طرح کلی مدل SMCE برای احداث بندگابیونی نشان داده شده است (شکل ۲).

[1] Digital Elevation Model

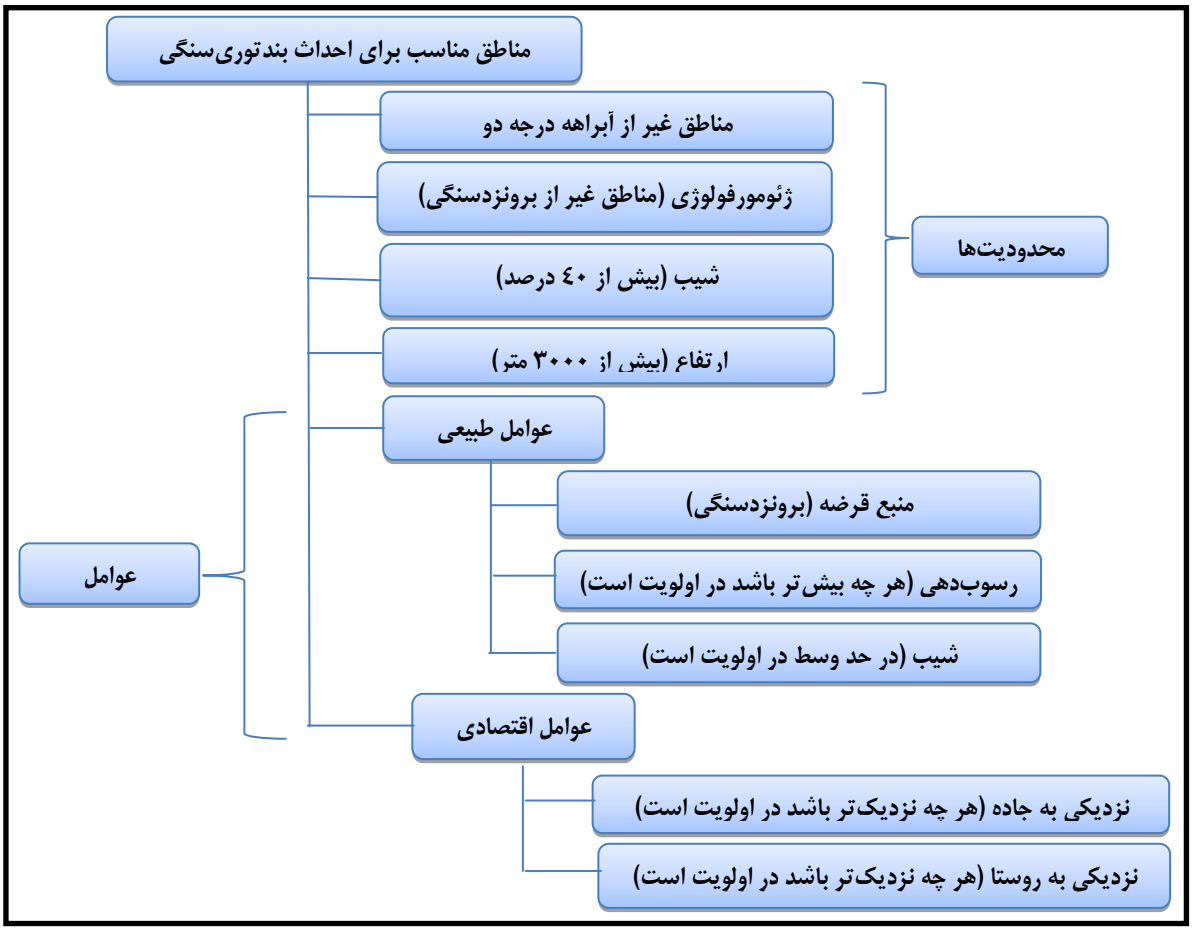
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]



شکل ۲- چارت عوامل و معیارهای احداث بند توری‌سنگی (گابیونی)

Figure 2- Chart of factors and criteria for the construction of a stone mesh dam (gabion)



شکل ۳- چارت عوامل و معیارهای احداث بندتوری‌سنگی (گابیونی)

Figure 3- Chart of factors and criteria for the construction of stone mesh (gabion)

وزن‌دهی عوامل و معیارها

طراحی پرسشنامه‌خبره

پرسشنامه مورد استفاده برای تحلیل سلسله‌مراتبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره به پرسشنامه‌خبره موسوم است. برای تهیه پرسشنامه خبره از مقایسه‌زوجی گزینه‌ها استفاده شد. برای هر سطح از سلسله‌مراتب یک پرسشنامه خبره تهیه شده و برای امتیازدهی از مقیاس پنج‌درجه ساعتی استفاده شد (محقق‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). با استفاده از این مقیاس می‌توان گزینه‌ها را بر اساس اهداف و به‌صورت زوجی با هم مقایسه کرد (جدول ۱).

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

جدول ۱- طیف پنج‌نقطه
Table 1- Five point spectrum

ترجیح یکسان	کمی‌بهتر	بهتر	خیلی‌بهتر	کاملاً بهتر
۱	۳	۵	۷	۹

تعیین وزن معیارها

از طریق پرسشنامه خبره معیارهای اصلی تعیین شد و با مقایسه زوجی معیارهای اصلی بر اساس هدف به تعیین اولویت هر یک از معیارها اصلی پرداخته شد. معیارها بر اساس هدف دو به دو با هم مقایسه و از داده‌های هر سطر میانگین هندسی گرفته شد. وزن‌های به‌دست آمده از طریق تقسیم میانگین هندسی به‌دست آمده در هر سطر بر مجموع عناصر ستون میانگین هندسی نرمالایز شد. ستون جدید که حاوی وزن نرمال شده هر معیار است را برداریژه یا Eigenvalue گویند. وزن نهائی هر ماتریس همان ستون برداریژه است.

مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارها

پس از تعیین وزن هر یک از معیارها در گام بعد باید گزینه‌ها به‌صورت زوجی بر اساس هر معیار مقایسه شوند. بعد از اینکه مقایسه‌ها انجام‌شد داده‌ها به ماتریس مقایسه‌زوجی منتقل شد. برای تعیین اولویت از مفهوم نرمال‌سازی (Normalize) استفاده شد. پس از نرمال‌سازی، وزن هر گزینه بر اساس معیار مورد نظر به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر مقدار ویژه هر سطر با تخمین میانگین هندسی آن سطر به جمع میانگین هندسی سطرها محاسبه شد. به مقادیر به‌دست آمده حاصل از محاسبات که ستون اولویت را تشکیل می‌دهند، بردار ویژه (Eigenvector) گویند. به این‌ترتیب اولویت هر عملیات بر اساس هر معیار محاسبه شد (جدول‌های ۳ تا ۷).

تهیه نقشه‌ها

بعد از تعیین وزن هر یک از معیارها نقشه مربوط به هر معیار در نرم‌افزار ILWIS به‌صورت رستری تهیه شد. برای تعیین اولویت سیل‌خیزی از شاخص f استفاده شد که در این شاخص عامل مساحت حذف شده‌است و نسبت کاهش دبی خروجی در اثر حذف هر زیرحوزه آبخیز به مساحت آن زیرحوزه آبخیز را محاسبه می‌کند. در واقع در این شاخص عامل مساحت حذف شده و مقداری شبیه دبی ویژه ارائه می‌شود. در این بخش اجزای هیدرولوژیک مانند زیرحوزه‌های آبخیز، محل تلاقی دو آبراهه، بازه رودخانه، مخازن و کانال‌های انحراف آب به‌صورت شماتیک ترسیم شد. سپس روش‌های مناسبی برای تعیین تلفات اولیه، رواناب سطحی‌حوزه آبخیز، آب پایه و روندیابی سیل در رودخانه انتخاب شده و اطلاعات فیزیکی وارد مدل شد. پس از تعیین شاخص سیل‌خیزی از طریق HEC-HMS، نقشه سیل‌خیزی با استفاده از نرم‌افزار ILWIS به‌صورت رستری تهیه و همه نقشه‌ها به مدل SMCE وارد شد.

نتایج و بحث

مکان‌یابی احداث بندهای گابیونی، خاکی و سنگی‌ملاتی

اولین گام در طراحی سازه‌های مکانیکی حوزه‌های آبخیز تعیین محل این سازه‌ها بود و در این مرحله محل سازه‌ها به‌گونه‌ای تعیین شد تا ضمن اصلاح پروفیل‌طولی آبراهه‌ها تا حد امکان توجیه اقتصادی مدنظر قرار گیرد. بدین منظور پارامترهای تاثیرگذار بر شکل آبراهه‌ها شناسایی و سپس با استفاده از آن‌ها آبراهه‌هایی که به بندخاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی نیاز دارند، مشخص شد. شاید مهم‌ترین فاکتور تاثیرگذار بر شکل آبراهه‌ها شیب باشد. لذا با توجه به وضعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه محدوده شیب خاصی برای تعیین اولیه آبراهه‌ها مشخص شد. تجربه نشان داده است که افزایش و یا کاهش مقدار شیب از محدوده موردنظر سبب تغییراتی در شکل‌آبراهه می‌شود که طراحی بندخاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی را غیراقتصادی و یا ناممکن می‌سازد (دراگان و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج نشان‌داد که جهت اجرای عملیات‌های آبخیزداری پنج‌معیار سیل‌خیزی، فرسایش، رتبه‌آبراهه، شیب و ژئومورفولوژی مهم‌ترین معیارها تشخیص داده شدند.

وزن‌دهی به معیارها بر اساس تحلیل‌سلسله‌مراتبی(AHP)

معیارها به‌صورت جفتی با هم مقایسه شده و بر اساس شاخص پنج نقطه‌ای به هرکدام امتیاز داده شد و از تقسیم جمع نمرات هر سطر (معیار) به جمع کل نمرات، مقدار وزن‌معیار (برداریژه) تعیین شد. امتیاز سه برای سیل‌خیزی در مقایسه با درجه آبراهه نشان‌دهنده این است که معیار سیل‌خیزی برای مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری اهمیت بیش‌تری از درجهآ براهه دارد (جدول ۲).

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

جدول ۲- تعیین وزن معیارها

Table 2- Determining the weight of criteria

معیارها	درجه‌آبراهه	سیل‌خیزی	ژئومرفولوژی	شیب	فرسایش	برداروِیژه
درجه‌آبراهه	۱	۱/۳	۳	۳	۱/۳	۰/۱۹
سیل‌خیزی	۳	۱	۵	۵	۱	۰/۳۶
ژئومرفولوژی	۱/۳	۱/۵	۱	۱	۱/۵	۰/۰۶
شیب	۱/۳	۱/۵	۱	۱	۱/۳	۰/۰۷
فرسایش	۳	۱	۵	۳	۱	۰/۳۲

در سطر اول برای درجه آبراهه در مقابل سیل‌خیزی (۱/۳) نشان‌دهنده این است که درجه آبراهه نسبت به سیل‌خیزی اهمیت کم‌تری دارد. بر اساس وزن‌های داده شده به هریک از معیارها، سیل‌خیزی و فرسایش به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۶ و ۰/۳۲ در اولویت بالاتری نسبت به سایر معیارها جهت احداث بندخاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی قرار دارند (جدول۲). در مرحله بعد عملیات‌های مختلف شامل بندخاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی به‌صورت جفتی و بر اساس هر معیار باهم مقایسه شده و اولویت عملیات‌ها در هر معیار تعیین شد.

جدول ۳- مقایسه‌زوجی عملیات‌های مختلف بر اساس شیب

Table 3- Pairwise comparison of different operations based on slope

شیب	گابیونی	خاکی	سنگی‌ملاتی	اولویت
گابیونی	۱	۱	۱/۵	۰/۱۳
خاکی	۱	۱	۱/۷	۰/۱۲
سنگی‌ملاتی	۵	۷	۱	۰/۷۵

مقایسه‌زوجی عملیات‌ها بر اساس شیب نشان داد که عامل شیب در احداث بندسنگی‌ملاتی نسبت به بندهای خاکی و گابیونی از اهمیت بالاتری برخوردار است (جدول ۳).

جدول ٤- مقایسه‌زوجی عملیات‌های مختلف بر اساس سیل‌خیزی

Table 4- Pairwise comparison of different operations based on flooding

سیل‌خیزی	گابیونی	خاکی	سنگی‌ملاتی	اولویت
گابیونی	۱	۱/۵	۱/۳	۰/۱
خاکی	۵	۱	۳	۰/۶
سنگی‌ملاتی	۳	۱/۳	۱	۰/۳

مقایسه زوجی عملیات‌ها بر اساس سیل‌خیزی نشان‌داد که بندخاکی با مقدار ۰/۶ در اولویت اول و بند سنگی‌ملاتی با امتیاز ۰/۳ در اولویت دوم قرار دارد (جدول ۴).

جدول ۵- مقایسه‌زوجی عملیات‌های مختلف بر اساس ژئومورفولوژی

Table 5- Pairwise comparison of different operations based on geomorphology

ژئومرفولوژی	گابیونی	خاکی	سنگی‌ملاتی	اولویت
گابیونی	۱	۳	۱	۰/۴۳
خاکی	۱/۳	۱	۱/۳	۰/۱۴
سنگی‌ملاتی	۱	۳	۱	۰/۴۳

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

بر اساس معیار ژئومورفولوژی حوزه آبخیز که شامل رخساره‌های توده‌سنگی، برونزد سنگی، دامنه پوشیده و نهشته‌های بستر رودخانه است، بند گابیونی و سنگی‌ملاتی هر دو با مقدار برابر ۰/۴۳ دارای اولویت بالاتری نسبت به بندخاکی هستند (جدول ۵).

جدول ٦- مقایسه زوجی عملیات‌های مختلف بر اساس فرسایش

Table 6- Pairwise comparison of different operations based on geomorphology

فرسایش	گابیونی	خاکی	سنگی‌ملاتی	اولویت
گابیونی	۱	۱/۷	۱	۰/۱۱
خاکی	۷	۱	۷	۰/۷۸
سنگی‌ملاتی	۱	۱/۷	۱	۰/۱۱

در مقایسه اهداف بر اساس معیار فرسایش اولویت اول با مقدار ۰/۷۸ به بند خاکی تعلق گرفت و بند سنگی‌ملاتی و گابیونی با مقدار برابر ۰/۱۱ در اولویت بعدی قرار گرفتند (جدول۶).

جدول ۷- مقایسه‌زوجی عملیات‌های مختلف بر اساس درجه‌آبراهه

Table 7- Pairwise comparison of different operations based on the grade of the waterway

درجه آبراهه	گابیونی	خاکی	سنگی‌ملاتی	اولویت
گابیونی	۱	۱/۵	۱/۳	۰/۱
خاکی	۵	۱	۳	۰/۶
سنگی‌ملاتی	۳	۱/۳	۱	۰/۳

معیار درجه آبراهه برای احداث بندخاکی از اهمیت بالاتری نسبت به بند سنگی‌ملاتی و گابیونی برخوردار است. زیرا بندهای گابیونی و سنگی ملاتی انعطاف‌پذیرتر بوده و آبراهه‌های درجه دو و سه مناسب احداث هر دو بند سنگی‌ملاتی و گابیونی هستند درحالی که مکان‌هایی که مناسب احداث بند خاکی است نمی‌توان بند گابیونی و سنگی‌ملاتی احداث کرد. به‌همین دلیل در مقایسه عملیات‌ها بر اساس معیار درجه آبراهه اولویت اول با مقدار ۰/۶ به بند خاکی تعلق گرفت و پس از آن بند سنگی‌ملاتی با مقدار ۰/۳ در اولویت دوم و بند گابیونی با مقدار ۰/۱ در اولویت سوم بود (جدول۷).

محاسبه اولویت‌ها

در نهایت با استفاده از میانگین موزون و از طریق معادله ۱ بهترین عملیات انتخاب شد.

$$\text{امتیاز هر گزینه} = \text{اولویت آن معیار} * \text{مجموع حاصلضرب اولویت آن گزینه بر اساس معیار } i$$

$$\text{بندگابیونی}: (0.19 * 0.13) + (0.36 * 0.1) + (0.06 * 0.43) + (0.07 * 0.11) + (0.32 * 0.1) = 0.13$$

$$\text{بندخاکی}: (0.19 * 0.12) + (0.36 * 0.6) + (0.06 * 0.14) + (0.07 * 0.78) + (0.32 * 0.6) = 0.49$$

$$\text{بندسنگی‌ملاتی}: (0.19 * 0.75) + (0.36 * 0.3) + (0.06 * 0.43) + (0.07 * 0.11) + (0.32 * 0.1) = 0.32$$

جدول ۸- تعیین اولویت عملیات‌ها بر اساس معیارها

Table 8- Determining the priority of operations based on criteria

	شیب	سیل‌خیزی	ژیومورفولوژی	فرسایش	درجه‌آبراهه	اولویت
گابیونی	۰/۱۳	۰/۱	۰/۴۳	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۳
خاکی	۰/۱۲	۰/۶	۰/۱۴	۰/۷۸	۰/۶	۰/۴۹
سنگی‌ملاتی	۰/۷۵	۰/۳	۰/۴۳	۰/۱۱	۰/۱	۰/۳۲

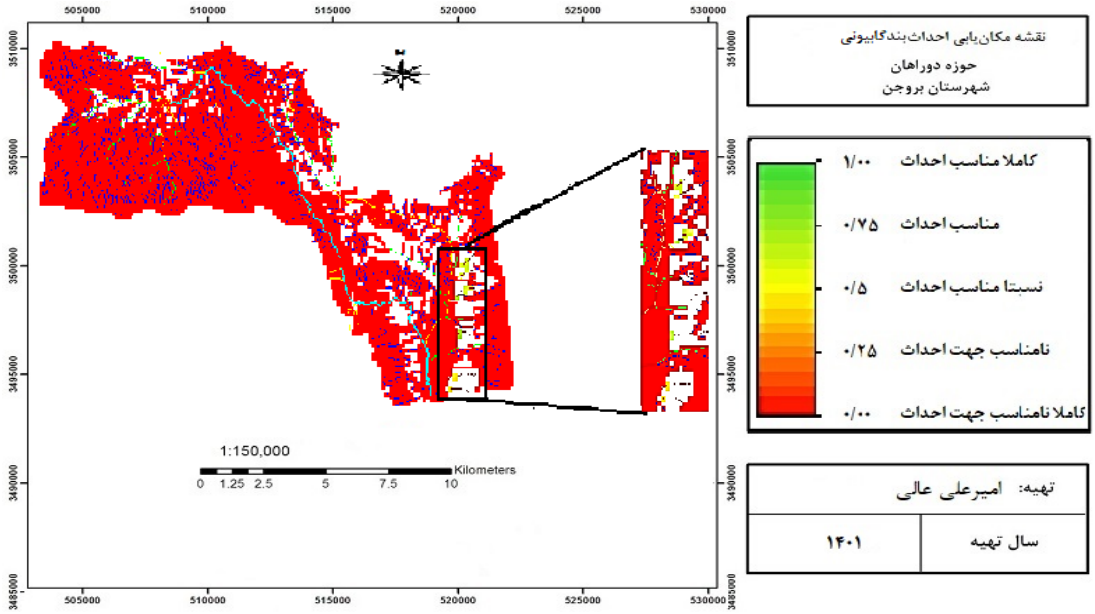
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

طبق اولویت‌بندی انجام شده به‌وسیله AHP اولویت‌اول که امتیاز بیش‌تری کسب کرده است با مقدار ۰/۴۹ بندخاکی است و پس از آن بند سنگی‌ملاتی با مقدار ۰/۳۲ در اولویت دوم قرار دارد و کم‌ترین امتیاز نیز با مقدار۰/۱۳ مربوط به بند گابیونی بود (جدول۸).

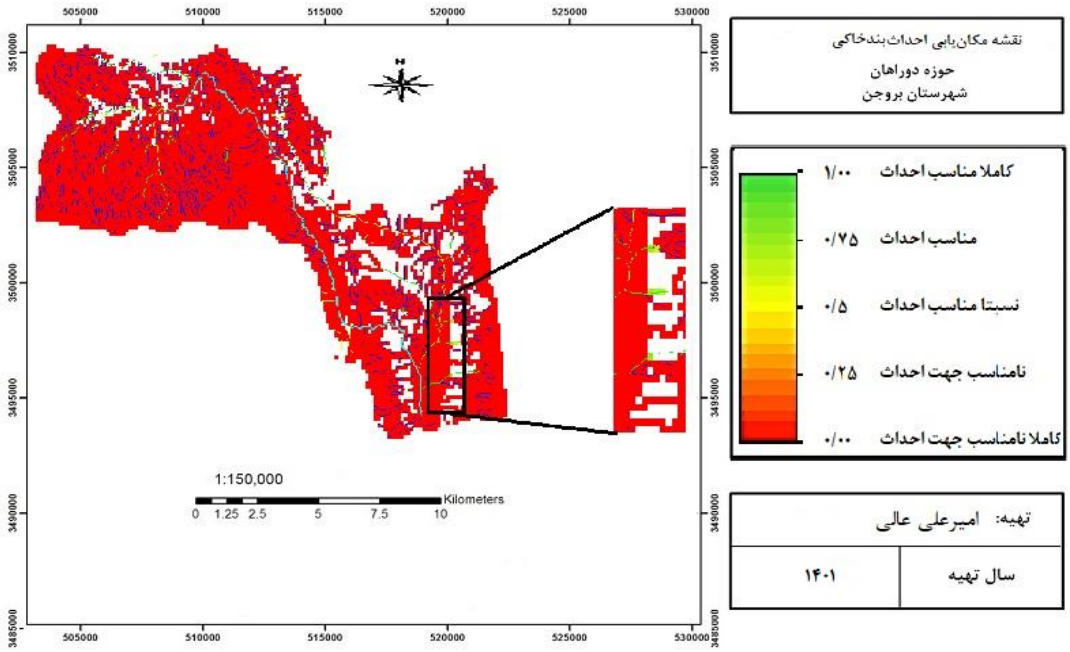
نقشه مکان‌یابی حوزه آبخیز برای احداث سازه‌ها

ب اتوجه به هدف مورد نظر که در این مطالعه مکان‌یابی احداث بندهای خاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی بود و ازطریق معیارها و محدودیت‌های مربوط به هر یک از اهداف (سیل‌خیزی، درجه آبراهه، شیب، فرسایش و غیره) اقدام به تهیه نقشه اولویت‌بندی مکانی احداث بند خاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی شد. مکان‌های مناسب برای احداث هر یک از بندها در زیرحوزه‌های آبخیز مختلف ارائه شده است (شکل‌های ۴ تا ۶).



شکل ۴- مکان‌یابی احداث بندگابیونی توسط SMCE

Figure 4- Locatiing the Gabion dam construction by SMCE

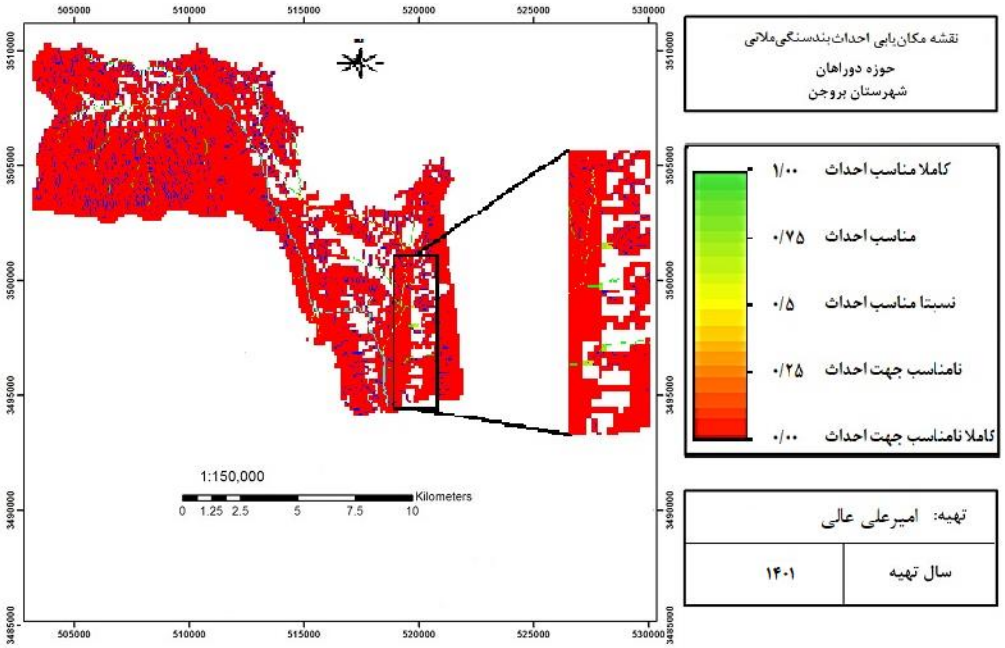


شکل ۵- مکان‌یابی احداث بند خاکی توسط SMCE

Figure 5- Locatiing the embankment construction by SMCE

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]



شکل ۶- مکان‌یابی احداث بندسنگی‌ملاتی توسط SMCE

Figure 6- Locating the construction of mortar and stone by SMCE

همان‌طور که در نقشه مکان‌یابی احداث بندگابیونی مشاهده می‌شود مناطق مناسب برای احداث این بند در زیرحوزه‌های آبخیز ۶ و ۷ و روی آبراهه‌های درجه دو در این زیرحوزه‌های آبخیز است (شکل ۴). نقشه مکان‌یابی احداث بند خاکی نیز مکان مناسب احداث این بند را نیز مانند بند گابیونی در زیرحوزه‌های آبخیز ۶ و ۷ نشان می‌دهد ولی این بند روی آبراهه‌های درجه سه و چهار پیشنهاد می‌شود (شکل ۵).

نقشه مکان‌یابی بند سنگی‌ملاتی نیز مانند نقشه مکان‌یابی بندخاکی است ولی این بند روی آبراهه درجه سه احداث می‌شود. مکان مناسب احداث این بند نیز زیرحوزه‌های آبخیز ۶ و ۷ است (شکل ۶). در شکل‌های چهار، پنج و شش مناطق با ارزش صفر نامناسب برای احداث بندهای گابیونی، سنگی‌ملاتی و خاکی، مناطق با ارزش ۰/۵ نسبتاً مناسب و مناطق با ارزش یک کاملاً مناسب برای احداث این سازه‌ها هستند. در این‌مطالعه از فنون تصمیم‌گیری SMCE استفاده شد. این‌روش مطالعه در انواع مطالعات به‌همین شکل استفاده شده است که به‌عنوان نمونه، Choo و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که این روش برای مکان‌یابی سد، مناسب است. با مقایسه مطالعات از این نوع می‌توان نتیجه گرفت که در انتخاب معیارها برای تصمیم‌گیری، در بسیاری از موارد چارچوب خاصی وجود ندارد و بحث تصمیم‌گیری با توجه به خواسته کارفرمایان، شرایط منطقه و هدف کار، انجام شده و بر این اساس از معیارهای گوناگونی استفاده می‌شود. بسته به هدف و شرایط می‌توان عوامل و محدودیت‌ها را کم یا اضافه کرد و یا در وزن‌ها تجدید نظر کرد. در این مطالعه در مدل SMCE سه هدف تعریف شد که همان احداث بندهای گابیونی، خاکی و سنگی‌ملاتی بود. معیارهای مورد بررسی شامل معیارهای‌طبیعی (سیل‌خیزی، فرسایش، شیب، درجه آبراهه، ژئومورفولوژی) و معیارهای اقتصادی (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده‌ها) به‌صورت نقشه‌های رستری به مدل وارد شد. در مرحله بعد امتیاز مربوط به هر معیار ازطریق AHP و با نظر کارشناسان تعیین شد و نقشه‌های مکان‌یابی برای برنامه‌ریزی و ساخت بندهای توری‌سنگی، خاکی و سنگی‌ملاتی در حوزه آبخیز تهیه شد. در این پژوهش چون عوامل و محدودیت‌های مختلف با تحلیل چندمعیاره با هم درنظر گرفته شد مکان‌یابی به‌طور منطقی انجام شد. نقشه‌های مکان‌یابی تهیه شده نقاط بیش‌تری را مناسب احداث بند گابیونی تعیین کرد در صورتی‌که این هدف در مرحله اولویت‌بندی به‌وسیله تحلیل سلسله‌مراتبی دارای اولویت پایین‌تری نسبت به دو هدف دیگر بود. این اتفاق به‌این دلیل است که بند گابیونی به‌خاطر انعطاف‌پذیر بودن امکان احداث در شرایط مختلف از جمله در محدوده شیب بیش‌تری می‌تواند احداث شود. این سازه حتی در مناطق مارنی که سایر سازه‌ها قابلیت احداث ندارند قابل اجرا است از سوی دیگر اولویت احداث سازه رابطه‌ای با بیش‌تر یا کم‌تر بودن مناطق مناسب احداث سازه ندارد چرا که اولویت احداث بیش‌تر در رابطه با نوع هدف ما از اجرای آن عملیات است ولی مکان‌یابی مربوط به شرایط مناسب برای احداث آن سازه خاص است. به‌عنوان مثال حوزه آبخیزی که دارای بارش زیاد باشد و شرایط آن به‌گونه‌ای باشد که این بارش زیاد به‌صورت هرزآب خارج شود نیاز به اجرای عملیاتی دارد که بتوان این میزان بارش زیاد را ذخیره کرده و از هدررفت آن جلوگیری نمود. بنابراین در چنین حوزه آبخیزی احداث بندخاکی اقدام مناسبی بوده و دارای اولویت بالاتر است. درحالی‌که شرایط شیب و ژئومورفولوژی ممکن است به‌گونه‌ای باشد که نقاط کم‌تری مناسب احداث این سازه باشد و در

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

عوض نقاط مناسب بیش‌تری برای احداث سازه‌های دیگر تشخیص داده شود. نقشه‌های خروجی مکان‌یابی احداث بند خاکی و سنگی‌ملاتی مشابه هم است این بدین معناست که شرایط و معیارهای بررسی شده در هردو سازه به‌هم شبیه و نزدیک هستند در صورتی‌که در مکانی‌که بند خاکی احداث می‌شود نمی‌توان بند سنگی‌ملاتی احداث کرد پس لازم است برای رسیدن به نتایج بهتر معیارهای بیش‌تری را مدنظر قرارداد و از پارامترهایی استفاده شود که بتواند نشان‌دهنده اختلاف بین دو سازه باشد. به‌عنوان مثال معیاری که می‌تواند این اختلاف را نشان دهد عرض آبراهه است چرا که در آبراهه‌ای که بند سنگی‌ملاتی احداث می‌شود به‌دلیل عرض‌کم نمی‌توان بند خاکی احداث کرد. یکی از محدودیت‌های مطالعه این بود که استفاده از معیارهای بیش‌تر، تعداد لایه‌های اطلاعاتی را افزایش داده و امکان ایجاد یک لایه مشترک را کاهش می‌دهد بنابراین نمی‌توان همه عوامل را در نتیجه‌گیری وارد کرد و باید سعی کرد با دقت فراوان مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل را انتخاب و در نتیجه‌گیری وارد کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان‌داد که با استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره می‌توان به‌خوبی عملیات اصلاحی آبخیزداری را جانمایی و اولویت‌بندی کرد. عوامل موثر در جایابی به‌خوبی می‌تواند با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) اولویت‌بندی شوند که در این مطالعه فاکتورهای سیل‌خیزی و فرسایش از اهمیت بیش‌تری برخوردار بودند. بعد از مقایسه زوجی معیارها و وزن‌دهی به هر معیار برداریژه مربوط به هر معیار از میانگین‌وزنی معیار مربوطه به کل معیارها به‌دست آمد و وارد مدل شد. اهداف نیز به‌صورت زوجی و بر اساس هرمعیار باهم مقایسه شده و امتیاز مربوط به هرکدام مشخص شد. برداریژه اهداف بر اساس معیارها تعیین شد که نشان‌دهنده اولویت هر هدف بر اساس معیار است. برداریژه مربوط به هرمعیار را در اولویت هر هدف بر اساس آن معیار ضرب کرده و با جمع‌کردن حاصل‌ضرب‌ها، اولویت مربوط به هر هدف تعیین شد. در این مطالعه اولویت اول به بند خاکی با امتیاز ۰/۴۹۳۸ داده شد. اولویت دوم و سوم به‌ترتیب مربوط به بند سنگی‌ملاتی و گابیونی با امتیازهای ۰/۳۱۶ و ۰/۱۲۶۲ بود. با توجه به طرح‌های اجرا شده و وضعیت منطقه، جایی که منابع سنگ (برونزدسنگی) و آبراهه‌های درجه دو (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) وجود داشته باشد و نزدیک به جاده باشد، مناسب احداث بندهای توری‌سنگی است. مناطق با آبراهه‌های درجه‌سه و چهار (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) و با شیب کم‌تر از ۱۰ درصد و شاخص سیل‌خیزی ۳/۴ تا ۳/۶ مناسب احداث بند خاکی است و مناطق با آبراهه‌های درجه سه (طبق روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها) و با شیب کم‌تر از ۲۰ درصد و شاخص سیل‌خیزی ۳/۴ تا ۳/۶ مناسب احداث بند سنگی‌ملاتی است. مدل تحلیل چندمعیاره مکانی (SMCE) نیز به‌خوبی توانست در تهیه نقشه مکان‌یابی احداث بندهای خاکی، سنگی‌ملاتی و گابیونی استفاده شود. تفاوت و برتری این پژوهش نسبت به مطالعات مشابه در این است که در این پژوهش شاخص سیل‌خیزی حوزه آبخیز به‌عنوان نقشه اصلی جهت مکان‌یابی در کنار سایر نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین اولویت سیل‌خیزی از شاخص f استفاده شد که در این شاخص عامل مساحت حذف شده است و نسبت کاهش دبی خروجی در اثر حذف هر زیرحوزه آبخیز به مساحت آن را محاسبه می‌کند. در واقع در این شاخص عامل مساحت حذف شده و مقداری شبیه دبی ویژه ارائه می‌شود. در این بخش اجزای هیدرولوژیک مانند زیرحوزه‌های آبخیز، محل تلاقی دو آبراهه، بازه رودخانه، مخازن و کانال‌های انحراف آب به‌صورت شماتیک ترسیم شد. سپس روش‌های مناسبی برای تعیین تلفات اولیه، رواناب سطحی، آب پایه و روندیابی‌سیل در رودخانه انتخاب شده و اطلاعات فیزیکی وارد مدل شد. بعد از تعیین شاخص سیل‌خیزی از طریق مدل HEC-HMS، نقشه سیل‌خیزی با استفاده از نرم‌افزار ILWIS به‌صورت رستری تهیه و همه نقشه‌ها به مدل SMCE وارد شد. علاوه‌بر این پیش‌از مکان‌یابی، زیرحوزه‌های آبخیز منطقه مورد مطالعه جهت انجام عملیات‌های اصلاحی آبخیزداری اولویت‌بندی شد و نهایتا مکان‌یابی جهت اجرای هر سه نوع عملیات اصلاحی آبخیزداری (بند گابیونی، بند سنگی‌ملاتی و بند خاکی) انجام شد. ضرورت این نوع مطالعات از آن‌جا بیش‌تر مشخص می‌شود که اکثر مطالعات پایه به تفصیل و جداگانه صورت گرفته و پهنه‌بندی خطرات فرسایش، انجام می‌شود ولی مرحله تلفیق و برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش فرسایش با استفاده از فنون جدید و توجه به مطالعات پایه کم‌تر انجام می‌شود. انبوهی از داده‌ها توسط سازمان‌ها و مراکز مختلف پژوهشی در این زمینه جمع‌آوری شده است ولی لازم است با داده کاوی، و فنون نوین، به برنامه‌ریزی‌های لازم برای کاهش خطرات، بیش‌تر توجه شود. از طرفی برنامه‌ریزی در حوزه آبخیز، کاری پیچیده است و با دخالت عوامل و محدودیت‌های متعدد امکان‌پذیر است. به‌دلیل اینکه مکان‌یابی عملیات اصلاحی توسط کارشناسان مهندسین مشاور در کشور ما انجام می‌شود لازم است که این روش در اختیار کارشناسان قرار گرفته تا آن‌ها را به مثابه یک ابزار راهبری در یافتن نوع عملیات مناسب و مکان‌یابی پروژه‌ها کمک نمایند. با مقایسه نتایج این مطالعه با مشاهدات میدانی و صحبت با مجریان بندهای‌اصلاحی احداث شده مشخص شد بندهایی که در محل‌های منطبق با نقشه مکان‌یابی این مطالعه احداث شدند دارای کارایی بالایی بوده و توسط اداره منابع‌طبیعی نیز اقتصادی عنوان شده و بندهایی که در مکان‌هایی احداث شده بودند که در این مطالعه نامناسب برای احداث آن نوع عملیات اصلاحی تشخیص داده شده بود کاملاً ناکارآمد بوده یا سال اول کاملاً تخریب شده و از نظر اداره منابع‌طبیعی، غیر اقتصادی عنوان شدند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: نویسنده اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ نویسنده دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری؛ نویسنده چهارم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: از همکاری و مساعدت دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه شهرکرد و اداره‌کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری که از اجرای این پروژه تحقیقاتی حمایت نمودند، کمال تشکر را داریم.

منابع

بروغنی، م.، خ. میرنیا و ج. احمدی (۱۳۹۳) بررسی تأثیر نانوزئولیت در کاهش فرسایش خاک با استفاده از باران‌ساز (FEH). مدیریت حوضه آبخیز، ۵(۹): ۹۵-۱۰۶. https://sid.ir/paper/230320/fa

جمالی، ع. و م. یزدانی (۱۳۹۲) ارزیابی چندمعیاره مکانی(SMCE)، روش نوین در اولویت‌بندی حوضه آبخیز کالقوزستان کاشمر برای احداث سدها اصلاحی توری سنگی در مقابله با سیل. نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد، ۶-۱. https://civilica.com/doc/246661

جمالی، ع.، ج. قدوسی و ص. زارع کیا (۱۳۸۷) فنون تحلیل چند معیاره مکانی، تصمیم، تحلیل سلسله مراتبی و استانداردسازی فازی در تعیین بحرانی‌ترین چراگاه‌های حوزه آبخیز، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۴(۱۵): ۴۷۵-۴۸۵. https://ijrdr.areeo.ac.ir /article_104399.html

جمالی، ع.، ج. قدوسی و م. فرح‌پور (۱۳۸۶) تعیین مراتع مناسب برای کنترل بیولوژیک فرسایش خاک با استفاده از سامانه تصمیم‌یار مکانی، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲): ۲۶۱-۲۷۰. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105637.html

جمالی، ع.، ج. قدوسی و م. فرح‌پور (۱۳۹۰) تحلیل چندمعیاره مکانی (SMCE) و فنون تصمیم گیری در اولویت‌بندی حوزه آبخیز برای احداث سدهای اصلاحی توری سنگی، پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۰: ۹-۱. https://magiran.com/p953507

حجازی، ا.، م. ر. نیکجو و م. اصفهانی (۱۳۹۴) برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه آبریز بکرآباد ورزقان با استفاده از مدل MPASIAC در محیط GIS. فضای جغرافیایی، ۱۵(۴۹): ۲۳۷-۲۵۷. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1718-fa.html

حسن‌زاده نفوتی، م.، م. چابک و ز. ابراهیمی خوسفی (۱۳۹۱) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ارزیابی‌چندمعیاره‌مکانی (SMCE)، (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شلمارود). پژوهش‌های حفاظت خاک، ۱(۱۹): ۹۹-۱۱۷. https://dorl.net/dor /20.1001.1.23222069.1391.19.1.6.7

حسینخانی، ح (۱۳۹۲) ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب دهی حوضه آبریز سد شهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های EPM و مدل GIS، زمین‌شناسی ایران، ۷(۲۶): ۸۷-۹۶. http://geology.saminatech.ir/fa/Article/9403

رحیمی، ا.، م. سیدیان، ح. روحانی و ر. احمدی (۱۳۹۸) مکان‌یابی بندهای‌اصلاحی به‌منظور کنترل فرسایش با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش‌های فرسایش محیطی ۹(۱): ۲۶-۱. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1398.9.1.4.8

عابدینی، م. و ح. ستایشی نساز (۱۳۹۳) پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلجه). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸(۴۹): ۱۳۹-۱۶۵. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_2193.html

کامل باسمنج، ب.، ب. میرجعفری و س. ع. علوی (۱۳۹۱) ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای در منطقه یک شهر، تبریز با استفاده از مدل تحلیل چند معیاره فضایی. مدرس علوم انسانی -برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲(۱۶): ۱۲۱-۱۴۰. http://hsmsp.modares.ac.ir /article-21-3433-fa.html

کریمی، م. و ا. نجفی (۱۳۹۱) ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی منطقه یک کلان شهر تهران)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۸): ۷۷-۹۵. http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.22517812.1391.2.4.2.3

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

محقق پور، ح.، ا. بحرانی فرد، س.کلبی و ن. آرمان(۱۴۰۱) مکان‌یابی مناطق مناسب برای پخش‌سیلاب با استفاده از روش ترکیب خطی‌وزنی در حوزه آبخیز سد باغان بوشهر. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۵): ۱۴۵-۱۵۵. http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.13.25.145

وقارفرد، ح و ح. مقیم (۱۳۹۸) گزارش‌فنی مکان‌یابی مناطق مناسب سیستم پخش‌سیلاب با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار GIS (مطالعه موردی: منطقه نعیم آباد استان فارس). مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۴): ۷۶۱-۷۷۲. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.105362.1106

References

Abedini, M. and Sadashin Nasaz, H. (2013) *Landslide Risk Zoning Using Hierarchical Analysis (AHP). Case study: Golja watershed*. Geography and Planning, *18(49): 139-165*. [in Persian]. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_2193.html

Andreas, G. Eeckhaut, M.V.D., Malet, J.P., Reichenbach, P. and Hervás, J. (2014) *Climate physiographically differentiated Pan-European landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation and transnational landslide information.* Geomorphology, *224: 69-85*. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.011

Arianpour, M. and Jamali, A.A. (2015) *Flood Hazard Zonation using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) in GIS (Case Study: Omidieh - Khuzestan).* European Online Journal of Natural and Social Sciences, *4(1): 39-49*. https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1995.tb00046.x

Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R. and Bernhardt, G. (1995) *Automated base flow separation and recession analysis techniques.* Ground Water, *33(6): 1010-1018*.

Baffaut, C. and Dellenr, J.W. (1989) *Expert system for calibrating SWMM*. Journal of Water Resources Planning and Management, *115(3): 278-298*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1989)115:3(278)

Broghni, M., Mirnia, Kh. and Ahmadi, J. (2013) *Investigating the effect of nanozeolite in reducing soil erosion using a rainmaker (FEH)*. Watershed Management, 5(9): 95-106. [in Persian]. https://sid.ir/paper/230320/fa

Choo, T.H., Ahn, S.H., Yang, D.U. and Yun, G.S. (2017) *A Study on the Estimating Dam Suitable Site based on Geographic Information using AHP*. Paper presented at 6th International Conference on Developments in Engineering and Technology, Thailand.

Geneletti, D. (2010) *Combining stake holder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites.* Waste Management, *30(2): 328-337*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.039

Hassanzadeh Nafouti, M., Chabak, M. and Ebrahimi Khosofi, Z. (2012) *Landslide risk zoning using the spatial multi-criteria evaluation (SMCE) method, (Case study: Shalmarud watershed)*. conservation studies. Soil, *1(19): 99-117*. 116-117-99. [in Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1391.19.1.6.7

Hijazi, A., Nikjo, M.R. and Esfahani, M. (2014) *Estimating soil erosion and sediment production in Bakrabad and Varzghan watershed using MPASIAC model in GIS environment*. Geographical Space, 15(49): 237-257. [in Persian]. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1718-fa.html

Hill, M.J., Braaten, R., Simon, M., Brian, V., Lees, G. and Sharma, S. (2005*) Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis.* Environmental Modelling & Software, 20: 955-976. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.04.014

Hosseinkhani, H. (2013) Erosion risk assessment and sedimentation potential of Shahryar Dam catchment area using EPM techniques and GIS model. Iranian Journal of Geology, 1(19): 99-117. [in Persian]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1398.9.1.4.8

Jaiswal, R.K., Ghosh, N.C., Galkate, R.V. and Thomas, T. (2015) *Multi Criteria Decision Analysis(MCDA) for watershed Prioritization.* Aquatic Procedia, 4:1553-1565. https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.201

Jamali, A. and Yazdani, M. (2012) *Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE), Yenvin's method in prioritizing the Kalquzistan Kashmir watershed for the construction of corrective stone mesh dams to combat the bacilli.* National Conference of Iran Watershed Sciences and Engineering, Yazd University, *9th period, 1-6 pp*. [in Persian]. https://civilica.com/doc/246661

Jamali, A., Qudousi, C. and Farahpour, M. (2008) *Determining suitable pastures for biological control of soil erosion using spatial decision support system*. Iranian Pasture and Desert Research, *14(2): 261-270* [in Persian]. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105637.html

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]

Jamali, A.A., Ghoddousi, J. and Farahpourc, M. (2010). *Spatial multi criteria analysis and decision techniques in order to watershed prioritizing for gabion check dams building* .Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), *90(2): 1-9*. [in Persian]. https://magiran.com/p953507

Jamali,A.A., Ghoddousi, J. and Zarekia, S.(2008). *Multicriteria, decision, analytic hierarchy process and fuzzy standardization techniques to determine the most critical rangelands in watershed*. Journal Range and Desert Reseach. Iranian. 15(4): 475-484. [in Persian]. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_104399.html

Jongman, B., Hochrainer-Stigler, S., Feyen, L., Aerts, J.C., Mechler, R., Botzen, W.W., Bouwer, L.M., Pflug, G., Rojas, R. and Ward, P.J. (2014). *Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods*. Nature Climate Change, *4(4): 264–268*. https://doi.org/10.1038/nclimate2124

Kamel Basmanj, B., Mirjafari, B. and Alavi, S.A. (2013) *Seismic vulnerability assessment in a city area, Tabriz using a multi-criteria spatial analysis model*. Modares Humanities-Planning and Space Planning, *2(16): 121-140*. [in Persian]. http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-3433-fa.html

Kamruzzaman, M.D. and Baker, D. (2013) *Will the application of spatial multi criteria evaluation technique enhance the quality of decision-making to resolve boundary conflicts in the Philippines.* Land Use Policy, *34: 11-26*. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.01.007

Karimi, M. and Najafi, A. (2013) *Landslide risk assessment using the FUZZY-AHP hybrid model in the direction of urban development and security (case study: one area of Tehran metropolis),* Environmental Erosion Research, 2(8): 77-95. [in Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1391.2.4.2.3

Kreft, S. Eckstein, D. Junghans, L. Kerestan, C. and Hagen, U. (2014) *Global climate risk index 2015: who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2013 and 1994 to 2013.* Germanwatch e.v, Bonn, Germany, *32p*. DONATION ACCOUNT: DE33 1002 0500 0003 2123 00

Malczewski, J. (2006) *GIS-based multicriteria decision analysis:a survey of the literature.* International Journal of GeographicalInformation Science, *20(7): 703-726*. https://doi.org/10.1080/13658810600661508

Mohaghegpour, H., Barhani Fard, A., Kolbi, S. and Arman, N. (1401) *Locating suitable areas for flood spreading using the weighted linear combination method in the watershed of Baghan Bushehr dam*. Watershed Management Research Journal, 13(25): 145-155. [in Persian]. http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.13.25.145

Morgan, R.P.C. (1996) *Soil erosion and conservation*.2nd. Silsoe College. Cranfield University, UK.

Rahimi, A., Seydian, M., Rouhani, H. and Ahmadi, R. (2018) *Location of correction dams to control erosion with the help of hierarchy analysis process*, Environmental Erosion Research 1,9(33): 26-1 [in Persian]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1398.9.1.4.8

Vaqar Fard, H. and Moghim, H. (2018) *Technical report on locating suitable areas of flood distribution system using AHP method and GIS software (case study: Naeemabad region of Fars province).* Watershed Engineering and Management, *10(4): 772-761*. [in Persian]. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.105362.1106

Vittala, S.S., Govindaiah, S. and Gowda, H.H. (2008) *Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: an integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data.* Current Science, *95(3): 345-354*. https://doi.org/10.1007/s12524-009-0016-8

Zhao, G., Kondolf, G.M., Mu, X., Han, M., He, Z., Rubin, Z. and Sun, W. (2017) *Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau.* China, Catena, *148: 126 – 137*. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.010

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.1.4.0]